



TUGAS AKHIR - TE 141599

**PEMODELAN ARUS ARCING TEGANGAN RENDAH
PADA KABEL FLEKSIBEL (SERABUT) MENGGUNAKAN
*ELMAN NEURAL NETWORK***

Liga Primabaraka
NRP 2212100079

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST.,M.Sc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**LOW VOLTAGE ARCING CURRENT MODELING AT
FLEXIBLE CABLE (STRANDED) USING ELMAN NEURAL
NETWORK**

Liga Primabaraka
NRP 2212100079

Advisor
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST.,M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**PEMODELAN ARUS ARCING TEGANGAN RENDAH
PADA KABEL FLEKSIBEL (SERABUT) MENGGUNAKAN
ELMAN NEURAL NETWORK**

TUGAS AKHIR

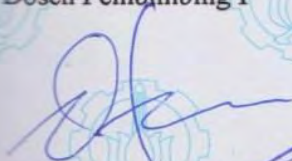
**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

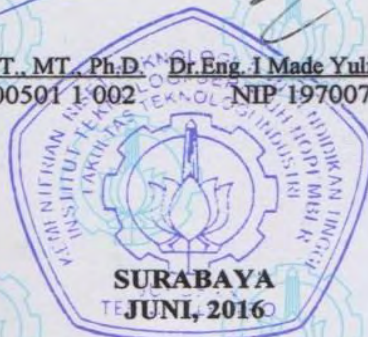
**Bidang Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Denny Anton Asfani, ST., MT., Ph.D. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP 19810905 200501 1 002 NIP 19700712 199802 1 001



PEMODELAN ARUS ARCING TEGANGAN RENDAH PADA KABEL FLEKSIBEL (SERABUT) MENGUNAKAN *ELMAN NEURAL NETWORK*

Nama : Liga Primabaraka

NRP : 2212100079

Dosen Pembimbing 1: Dimas Anton Asfani, ST.,MT.,Ph.D

Dosen Pembimbing 2: Dr.Eng. I Made Yulistya Negara,ST.,M.Sc.

ABSTRAK

Rasio elektrifikasi di Indonesia meningkat setiap tahunnya. Hal ini berakibat pada jumlah pelanggan rumah tangga yang semakin meningkat pula. Penggunaan listrik dapat menyebabkan bahaya jika tidak diperlakukan dengan baik. Salah satu bahaya yang dapat terjadi adalah kebakaran akibat dari adanya *arc flash* yang berasal dari peristiwa hubung singkat. Maka dari itu, diperlukan sebuah analisa bahaya listrik pada tegangan rendah sehingga keamanan pada sisi pelanggan dapat tetap terjaga. Arus *Arc flash* pada tegangan rendah memiliki karakteristik berupa bentuk gelombang yang nilainya tinggi, namun durasi yang relative singkat. Hal ini berakibat pada tidak bereaksinya alat pengaman dalam mengatasi gangguan ini. Dalam tugas akhir kali ini, penulis akan membuat sebuah pemodelan terhadap arus arcing pada tegangan rendah. Tujuan dari melakukan pemodelan adalah untuk memudahkan analisa terhadap fenomena arc flash pada tegangan rendah sehingga nantinya ditemukan solusi untuk mengatasi bahaya yang dapat diakibatkan oleh fenomena *arc flash* itu sendiri. Pemodelan ini menggunakan metode Elman Neural Network yang berfungsi untuk membentuk karakteristik dari bentuk arus *arc flash* dengan menentukan nilai hambatan pada tempat terjadinya arcing. Pemodelan dilakukan berdasarkan kasus *arc flash* pada kabel fleksibel dengan jumlah serabut yang berbeda-beda. Keluaran dari tugas akhir ini adalah sebuah arus arcing pemodelan yang bentuknya mirip dengan arus arcing percobaan. Hasil yang didapatkan adalah arus arcing pemodelan memiliki bentuk yang mirip dengan arus arcing percobaan.

Kata kunci: pemodelan, *arc flash*, tegangan rendah, elman neural network

LOW VOLTAGE ARCING CURRENT MODELING AT FLEXIBLE CABLE (STRANDED) USING ELMAN NEURAL NETWORK

Name : Liga Primabaraka

NRP : 2212100079

Advisor 1 : Dimas Anton Asfani, ST.,MT.,Ph.D

Advisor 2 : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara,ST.,M.Sc

ABSTRACT

The electrification ratio in Indonesia is increasing every year. This resulted in the number of household customers are increasing as well. Electricity use can cause harm if not treated properly. One of the dangers that can occur is a fire resulting from the arc flash coming from the short circuit events. Therefore, we need an analysis of the electrical hazards at lower voltage so that the security on the customer side can be maintained. Arc flash currents at low voltages characterized by a waveform whose value is high, but relatively short duration. This resulted in not reacting safety device in overcoming this disorder. In this final project, the author will make a model of the arcing current at low voltage. The purpose of modeling is to facilitate the analysis of the phenomenon of arc flash at lower voltage so that later found a solution to address the dangers that can be caused by arc flash phenomenon itself. This modeling method is Elman Neural Network which serves to establish the characteristics of the current form of arc flash with determining the value of resistance at the scene of the arcing. The modeling is on a case of arc flash on a flexible cable with different number of fiber. The output of this thesis is an arcing current modeling that looks similar to the arcing current experimental results. The result is an arcing current modeling has similiar look with the arcing current experimental.

Keyword: modeling, arc flash, low voltage, elman neural network

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Metode Penelitian	2
1.3 Sistematika Penulisan	4
BAB II PEMODELAN BUSUR API LISTRIK PADA TEGANGAN RENDAH	5
2.1 Kabel Fleksibel	5
2.2 <i>Electrical Fault</i>	6
2.3 <i>Arc Flash</i>	6
2.4 Karakteristik Arus Busur Api Listrik pada Beban Resistif	7
2.4 Pemodelan	8
2.5 Elman RNN	9
2.6 MSE	10
2.7 Pemodelan Busur Api Listrik	10
BAB III PENGAMBILAN DATA DAN PEMBUATAN MODEL BUSUR API LISTRIK TEGANGAN RENDAH	13
3.1 Perancangan Alat Eksperimen	13
3.1.1 Sumber Tegangan	15
3.1.2 Kabel Fleskibel NYMHY	15
3.1.3 Fuse Box	16
3.1.4 Beban	16
3.1.5 Chamber	16
3.1.6 Trafo Arus	17
3.1.7 NI 9246 dan NI 9223	17
3.1.8 Verivolt Entube DE-HB	18

3.1.9	Komputer	19
3.2	Pengambilan Data	19
3.3	Pengolahan Data	20
3.3.1	Energi	20
3.3.2	Hambatan Arcing.....	21
3.4	Pembuatan Model.....	21
3.4.1	Blok Rangkaian Utama.....	22
3.4.1.1	<i>Power Supply</i>	22
3.4.1.2	Beban	23
3.4.1.3	Kabel Paralel	24
3.4.1.4	Blok Sensor	24
3.4.2	Blok Hubung Singkat	25
3.4.2.1	<i>Switch On</i>	26
3.4.2.2	<i>Switch Off</i>	26
3.4.2.3	Rangkaian Rarc	27
3.4.3	Rangkaian Penghitung Energi	27
3.4.3.1	PS Product	28
3.4.3.2	Sum & Delay	28
3.4.3.3	Switch & Clock	29
3.4.4	Blok Jaringan Saraf Tiruan.....	29
3.4.5	Komponen Pendukung	31
3.4.5.1	<i>Solver Configuration</i>	31
3.4.5.2	From & GoTo	31
3.4.5.3	S-PS & PS-S	32
3.4.5.4	<i>Display</i>	32
3.4.5.5	<i>Scope</i>	32

BAB IV PELATIHAN JST DAN PERBANDINGAN PEMODELAN	35
4.1 Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan (JST)	35
4.1.1 Penentuan Jenis Pelatihan	35
4.1.2 Penentuan Jenis Lapis Tersembunyi	36
4.1.3 Penentuan Jumlah Neuron	36
4.1.4 Pembuatan Neural Network	37
4.1.5 Penentuan Input & Target Pelatihan	37
4.1.6 Memulai Pelatihan & Monitoring	38
4.1.7 Hasil Pelatihan Neural Network	40
4.2 Hasil Pemodelan dengan Data Training	42
4.3 Hasil Pemodelan dengan Data Non-Training	46
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
RIWAYAT HIDUP	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hambatan Kabel	15
Tabel 3.2 Spesifikasi CT	17
Tabel 3.3 Spesifikasi NI 9223 dan NI 9246	18
Tabel 3.4 Parameter Blok <i>Power Supply</i>	23
Tabel 3.5 Parameter Beban.....	24
Tabel 3.6 Parameter Kabel Paralel	24
Tabel 3.7 Parameter Delay	29
Tabel 3.8 Parameter <i>Solver Configuration</i>	31
Tabel 3.9 Label From & GoTo.....	32
Tabel 4.1 Perbandingan Metode Pelatihan	35
Tabel 4.2 Perbandingan Hidden Layer	36
Tabel 4.3 Perbandingan Neuron	36
Tabel 4.4 Pemilihan Parameter.....	37
Tabel 4.5 Parameter Pelatihan	39
Tabel 4.6 Error Pemodelan	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kebakaran di Gudang Ekspedisi Surabaya	1
Gambar 2.1 Kabel Fleksibel NYMHY	5
Gambar 2.1 <i>Arc Flash</i> pada Kabel	6
Gambar 2.3 Kebakaran Kabel Akibat Hubung Singkat.....	7
Gambar 2.4 Arsitektur Elman RNN	9
Gambar 3.1 Skema Penelitian	13
Gambar 3.2 Skema Alat Eksperimen Busur Api Listrik Tegangan Rendah	14
Gambar 3.3 Alat Penelitian	14
Gambar 3.4 Fuse 6A.....	16
Gambar 3.5 Chamber Akrilik	16
Gambar 3.6 CT Powell MSQ-30	17
Gambar 3.7 NI 9223 dan NI 9246	18
Gambar 3.8 Verivolt.....	18
Gambar 3.9 Software LabVIEW	19
Gambar 3.10 Rangkaian Utama.....	22
Gambar 3.11 Rangkaian <i>Power Supply</i>	23
Gambar 3.12 Rangkaian Beban	23
Gambar 3.13 Rangkaian Kabel Paralel.....	24
Gambar 3.14 Sensor Tegangan dan Arus	25
Gambar 3.15 Rangkaian Model Hubung Singkat	25
Gambar 3.16 Rangkaian <i>Switch On</i>	26
Gambar 3.17 Rangkaian <i>Switch Off</i>	26
Gambar 3.18 Rangkaian Rarc.....	27
Gambar 3.19 Rangkaian Penghitung Energi	27

Gambar 3.20 Product1	28
Gambar 3.21 Product2	28
Gambar 3.22 Sum & Delay	28
Gambar 3.23 Switch Energi	29
Gambar 3.24 Blok Jaringan Saraf Tiruan.....	30
Gambar 3.25 <i>Solver Configuration</i>	31
Gambar 3.26 From & GoTo.....	31
Gambar 3.27 PS-S & S-PS	32
Gambar 3.28 <i>Display</i>	32
Gambar 3.29 <i>Scope</i>	33
Gambar 4.1 Arsitektur Elman	37
Gambar 4.2 Jumlah Serabut	37
Gambar 4.3 Jumlah Energi.....	38
Gambar 4.4 R Arcing	38
Gambar 4.5 Monitoring Pelatihan NN	40
Gambar 4.6 Hambatan Serabut 1	40
Gambar 4.7 Hambatan Serabut 3	41
Gambar 4.8 Hambatan Serabut 6	41
Gambar 4.9 Hambatan Serabut 12	41
Gambar 4.10 Hambatan Serabut 24	42
Gambar 4.11 Tegangan Sumber Serabut 1.....	42
Gambar 4.12 Arus Arcing Serabut 1	43
Gambar 4.13 Tegangan Sumber Serabut 3.....	43
Gambar 4.14 Arus Arcing Serabut 3	43
Gambar 4.15 Tegangan Sumber Serabut 6.....	44
Gambar 4.16 Arus Arcing Serabut 6	44

Gambar 4.17 Tegangan Sumber Serabut 12	44
Gambar 4.18 Arus Arcing Serabut 12	45
Gambar 4.19 Tegangan Sumber Serabut 24	45
Gambar 4.20 Arus Arcing Serabut 24	45
Gambar 4.21 Arus Arcing Serabut 1 (non-train)	47
Gambar 4.22 Arus Arcing Serabut 3 (non-train)	47
Gambar 4.23 Arus Arcing Serabut 6 (non-train)	47
Gambar 4.24 Arus Arcing Serabut 12 (non-train)	48
Gambar 4.25 Arus Arcing Serabut 24 (non-train)	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini, listrik menjadi kebutuhan yang sangat vital. Dalam beberapa tahun terakhir, rasio elektrifikasi mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pada tahun 2015, rasio elektrifikasi mencapai 86,39% (ESDM, 2015). Dengan pelanggan rumah tangga yang sangat banyak tersebut, keamanan instalasi listrik tegangan rendah sangatlah penting untuk diperhatikan karena selain memberikan manfaat yang sangat banyak, listrik juga dapat menjadi sebuah ancaman jika tidak ditangani secara tepat.

Salah satu bahaya yang dapat diakibatkan oleh listrik adalah kebakaran. Kebakaran masih sering terjadi di Surabaya. Tahun 2013 ada sebanyak 433 kejadian dan meningkat menjadi 596 kejadian pada tahun 2014. Adapun kasus yang disebabkan arus pendek ada sebanyak 117 insiden pada tahun 2013 dan 112 insiden pada tahun 2014 (Tyar Junaidi, 2015)



Gambar 1.1 Kebakaran di Gudang Ekspedisi Surabaya
(Sumber: www.antaranews.com)

Arus pendek atau arus hubung singkat dapat menimbulkan arc flash (busur api) yang dapat memicu terjadinya kebakaran. Arcing pada tegangan rendah memiliki nilai yang cukup tinggi, namun memiliki durasi yang cenderung singkat sehingga tidak dapat dideteksi oleh perangkat pengaman seperti fuse maupun circuit breaker.

Analisa mengenai arcिंग sangat perlu dilakukan agar dapat menghindari bahaya yang mungkin dapat diakibatkan oleh fenomena tersebut. Bahaya yang mungkin dapat ditimbulkan adalah *electric shock, arc flash burn, arc flash blast, intense light, sound wave, projectiles* [1]. Penelitian mengenai arcिंग masih terus dilakukan oleh para peneliti, termasuk di Laboratorium Tegangan Tinggi ITS.

Dalam rangka memudahkan analisa dari arcिंग tegangan rendah maka diperlukan sebuah pemodelan dari arus arcिंग. Tujuan dari melakukan pemodelan adalah dari factor kemudahan agar ketika hendak melakukan analisa arcिंग tidak perlu melakukan pengambilan data karena bentuk gelombangnya sudah dimodelkan.

Pada Tahun 1993, Jhon Matthew mengembangkan model umum dari arc flash sesaat untuk sistem resistif dan induktif. Kemudian pada tahun 1999 Gammon mengembangkan model arc flash berdasarkan waktu saat terjadi arc flash.

Artificial Neural Network (ANN) atau Jaringan Saraf Tiruan (JST) telah banyak diterapkan di berbagai permasalahan, seperti lalu lintas, komunikasi, dan rekayasa transportasi. Kemudian pada analisa kebiasaan berkendara dan manajemennya. Dalam kasus kecelakaan lalu lintas, JST dipergunakan untuk memodelkan hubungan antara tingkat keparahan luka yang diderita pengemudi dengan penyebab kecelakaan, perilaku pengemudi, kendaraan, jalan, maupun keadaan lingkungan. Oleh karena itu, disini kami hendak memanfaatkan JST dalam melakukan pemodelan arus arcिंग.

Maka dari itu, penulis hendak melakukan penelitian yang berjudul “Pemodelan Arus Arcिंग Tegangan Rendah pada Kabel Fleksibel (Serabut) menggunakan Elman Neural Network” dimana pemodelan ini akan menggunakan JST yang membentuk karakteristik dari gelombang arc flash dan memanfaatkan parameter-parameter lainnya, seperti energy dan jumlah serabut.

1.2 Metode Penelitian

Berikut ini akan dijelaskan metode yang dilakukan dalam penelitian ini. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori-teori yang terkait dengan busur api listrik tegangan rendah sekaligus hal-hal yang berhubungan dengan penelitian ini seperti neural network dan

simulink. Studi literature dapat dilakukan melalui jurnal, internet, dan lain-lain

2. Persiapan

Setelah mengumpulkan dan mempelajari hal-hal yang terkait dengan penelitian, yang perlu dilakukan selanjutnya adalah melakukan persiapan untuk proses pengerjaan penelitian ini. Adapun persiapan yang dimaksud adalah mempersiapkan peralatan-peralatan yang diperlukan, seperti trafo arus untuk menunjang pengambilan data arus, verivolt untuk menunjang pengambilan data tegangan, NI 9223 dan NI 9246 untuk proses akuisisi data dan alat-alat lainnya.

3. Pengambilan Data

Langkah berikutnya adalah melakukan pengambilan data. Proses ini adalah proses yang sangat penting karena data yang diperoleh digunakan untuk melakukan pemodelan. Adapun prosesnya adalah dengan mengoperasikan alat yang sudah dipersiapkan dan menyimpan data tersebut ke computer menggunakan DAQ.

4. Pengolahan Data

Pengolahan data dalam tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan program DIADEM yang kemudian dipindah ke Ms. Excel. Pemilihan data yang akan digunakan untuk melakukan pemodelan juga termasuk di dalam tahap ini. Selain itu, dilakukan pemotongan data yang tidak diperlukan sehingga lebih efektif dan penggeseran agar kedua gelombang berada pada fase yang sama.

Gelombang arus dan tegangan tidak sefasa diakibatkan oleh alat akuisisi keduanya yang berbeda sehingga menimbulkan keterlambatan dari salah satu gelombang.

5. Pembuatan Model

Proses ini adalah proses utama dari penelitian ini, yakni membuat sebuah pemodelan arus arc tegangan rendah. Pemodelan ini dilakukan menggunakan software Simulink pada Matlab, dengan metode Elman Neural Network.

Pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini mencakup serabut 1,3,6,12,24 dengan dilengkapi pengaturan waktu hubung singkat mulai dan berakhir.

6. Penarikan Kesimpulan

Proses penarikan kesimpulan menjadi tahapan yang terakhir. Dalam penelitian ini, dapat disimpulkan terkait busur api tegangan rendah dan pembuatan pemodelan.

1.3 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini dapat dibagi menjadi beberapa bab. Adapun sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

Bab pertama adalah pendahuluan yang mencakup latar belakang, batasan masalah, tujuan, manfaat, metode penulisan, dan sistematika penulisan

Bab kedua berisi tentang dasar teori terkait kabel fleksibel, *electrical fault*, *Arc Flash*, pemodelan, elman RNN, MSE dan pemodelan busur api listrik.

Bab ketiga berisi tentang perancangan alat eksperimen, pengambilan data, pengolahan data dan pembuatan model.

Bab keempat berisi tentang pelatihan JST, hasil train dan hasil pemodelan.

Bab kelima adalah bab yang terakhir berisi kesimpulan dan saran

BAB II

PEMODELAN BUSUR API LISTRIK PADA TEGANGAN RENDAH

2.1 Kabel Fleksibel

Kabel fleksibel adalah penghantar dengan ukuran hingga 4 mm² dan digunakan sebagai penghubung akhir dari pengawatan tetap ke peralatan atau komponen-komponen pelengkap (aksesoris) baik secara langsung ataupun melalui steker.

Kabel konduktor yang digunakan dalam rumah tangga secara umum adalah kabel konduktor dan kabel aluminium. Diantara keduanya, kabel tembaga lebih sering digunakan. Kabel tembaga juga memiliki tipe, yakni kabel tunggal dan kabel serabut. Instalasi rumah tangga lebih sering menggunakan kabel serabut karena harganya lebih murah.

Konduktor untuk kabel ini terbuat dari banyak benang kawat tipis sehingga lentur atau fleksibel. Jumlah dan ukuran dari benang kawat ini bergantung pada ukuran keseluruhan konduktor, misalnya konduktor dengan ukuran 0,5 mm² akan memiliki enam belas benang kawat dengan diameter 0,2 mm sementara konduktor 2,5 mm² akan memiliki lima belas benang kawat berukuran diameter 0,25 mm [2]. terdapat macam-macam kabel fleksibel yang digunakan dalam instalasi rumah tangga. Variasinya dari ukuran 0,5 mm² hingga 2,5 mm² (ukuran 4 mm² biasanya sangat jarang ditemui penggunaannya)



Gambar 2.1 Kabel Fleksibel NYMHY
(Sumber: en.ofweek.com)

Diameter kabel dapat berpengaruh terhadap besarnya arus yang mengalir pada kabel hubung singkat. Hal ini dapat dipengaruhi oleh nilai hambatan kabel yang berbeda-beda. Semakin besar luas penampang kabel, maka nilai resistansi akan semakin kecil, sehingga arus hubung singkat akan semakin besar.

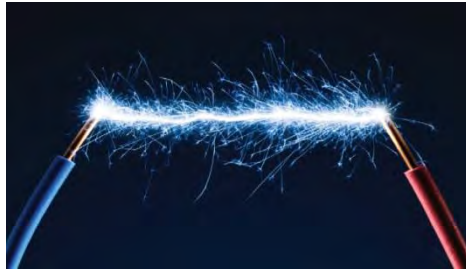
2.2 Electric Fault

Electrical fault dapat diartikan sebagai kondisi tidak normal akibat adanya kontak antar konduktor yang dialiri arus yang kekuatan isolasinya berkurang atau tidak normal. *Electrical fault* juga dapat terjadi akibat adanya kontak antara konduktor fasa dengan ground.

Kerusakan isolasi pada sebuah konduktor dapat diakibatkan oleh berbagai hal, seperti adanya tekanan mekanik dari luar maupun karena proses penuaan dari kabel itu sendiri. Kerusakan isolasi ini sering dianggap remeh oleh manusia, padahal jika muncul arus hubung singkat, dapat memunculkan busur api listrik dan dapat memicu terjadinya kebakaran.

2.3 Arc Flash

Arcing adalah sebuah peluahan elektrik yang mengalir diantara dua elektroda melalui gas atau uap air [3]. *Arc Flash* dapat terjadi akibat adanya hubung singkat. Hubung singkat dapat terjadi karena kontak langsung kedua konduktor yang berbeda potensial memiliki isolasi yang tidak standar, sehingga bagian dalam kabel saling bersentuhan



Gambar 2.2 *Arc Flash* pada Kabel
(Sumber: newscience.ul.com)

Arc memiliki tiga wilayah umum: katoda, anoda, dan kolom positif. Drop tegangan didalam katoda ada di sekitar 20 V atau kurang [4]. Drop tegangan dalam wilayah anoda biasanya jauh lebih kecil. Kolom positif, atau plasma, memiliki gradient tegangan yang cukup seragam [5].

Arc Flash terdiri dari dua jenis, yakni *arc flash* seri dan *arc flash* paralel. *Arc flash* seri terjadi akibat adanya kerusakan pada switching,

sedangkan arc flash paralel lebih umum terjadi seperti hubungan dua konduktor yang dialiri arus yang isolasinya tidak ada atau rusak.

Ketika arc flash terjadi, bahaya kebakaran mungkin terjadi jika terjadi dekat dengan bahan yang mudah terbakar. Busur api listrik khususnya yang terjadi pada tegangan rendah bisa berbahaya karena karakteristik arusnya yang meski memiliki nilai yang cukup besar, namun memiliki durasi yang relatif singkat sehingga MCB/Fuse sebagai alat pengaman tidak trip.



Gambar 2.3 Kebakaran Kabel Akibat Hubung Singkat
(Sumber: www.bessinsuranceagent.com)

Penghitungan nilai arus *arc flash* tergantung dari hambatan dari arc. Semakin besar nilai hambatan arc maka nilai arus arcing akan semakin kecil. Disisi lain, *arc flash* memiliki karakteristik energi yang relatif naik dan akan mengalami nilai yang cenderung tetap ketika fenomena *arc flash* sudah berakhir.

2.4 Karakteristik Arus Busur Api Listrik pada Beban Resistif

Beberapa karakteristik umum arus busur api listrik pada beban resistif yang telah diidentifikasi antara lain [6]:

1. Di setiap setengah cycle, arus memiliki dua nilai yaitu tidak bernilai (seolah-olah bernilai nol) dan bernilai ,begitu seterusnya setiap setengah cycle .
2. Laju kenaikan dan maksimum (*max*) arus biasanya selalu lebih besar dibanding arus beban normal.
3. Busur api listrik bukanlah fenomena dengan bentuk gelombang stasioner, segmen arusnya dapat berdampingan dengan segmen aliran arus normal.
4. Muncul *noise* frekuensi tinggi pada arus busur api listrik (dari 10kHz sampai dengan 1GHz)

5. Pada busur api listrik seri (*series arcing fault*), arusnya lebih kecil dibanding arus non-gangguan pada rangkaian yang sama
6. Sedangkan pada busur api listrik paralel (*parallel arcing fault*), arusnya meningkat secara signifikan. Arus busur api lebih besar dibanding arus normal.

2.5 Pemodelan

Model adalah beberapa deskripsi dari sebuah sistem, bagian terpisah dari hal yang nyata di dunia [7]. Merepresentasikan aspek yang penting dari sebuah sistem. Model tidaklah sempurna. Hanya beberapa aspek yang diambil sebagai bahan pertimbangan, disisi lain aspek yang lain diabaikan. Lebih mudah bekerja menggunakan model dibanding dengan sistem yang sesungguhnya. Beberapa konsep kunci dari sebuah model adalah: pemisahan, pemilihan dan parsimony. Adapun maksud dari ketiga konsep diatas adalah sebagai berikut:

Pemisahan:

Sebelum melakukan pemodelan, batas ruang lingkup dari sebuah sistem harus ditentukan agar hasil pemodelan tidak keluar dari hasil yang diinginkan. Pemodelan harus terpisah dari aspek yang tidak ditentukan

Pemilihan:

Hanya beberapa aspek yang diambil sebagai bahan pertimbangan dalam membuat sebuah model sesuai dengan ruang lingkup yang ditentukan. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses pemodelan.

Parsimony:

Maksud dari parsimony adalah membuat sebuah model dengan sesederhana mungkin. Untuk memudahkan pemahaman terhadap model itu sendiri.

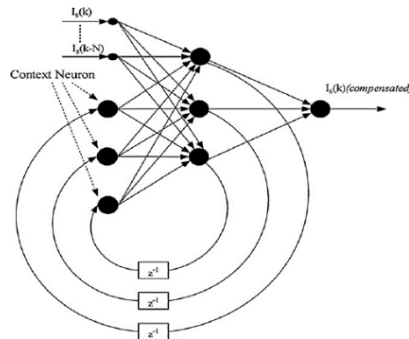
Fungsi dari model adalah untuk memahami lingkungan sekitar, kemudian untuk menyimulasikan sebuah sistem seperti penyebab kerusakan sebuah sistem, optimalisasi sistem, dan lain-lain. Disisi lain, pembuatan sebuah model dapat menghindarkan peneliti untuk melakukan eksperimen yang sesungguhnya. Hal ini dapat meningkatkan kemudahan dan keamanan sekaligus memfasilitasi para peneliti untuk melakukan analisa-analisa terhadap suatu fenomena.

2.6 Elman RNN

Penggunaan Neural Network semakin diminati dalam beberapa tahun terakhir. Neural Network dapat digunakan untuk memprediksi nilai dari fungsi yang non linier. Neural network dapat dimanfaatkan berbagai bidang keilmuan. Termasuk di dalamnya adalah untuk keilmuan Teknik Sistem Tenaga, khususnya analisa arus arc flash tegangan rendah.

Recurrent Neural Network (RNN) adalah sebuah jaringan yang mengakomodasi output jaringan untuk menjadi input jaringan yang kemudian digunakan untuk memproduksi output baru [8]. Arsitektur NN seluruhnya terinterkoneksi dengan network yang terhubung sebagian, termasuk jaringan multilayer feed forward dengan layer input dan output yang berbeda.

Elman RNN adalah jaringan recurrent sederhana. Ini adalah jaringan recurrent sebagian, yang mayoritas koneksinya adalah feedforward saja. Sebuah kelompok unit spesifik menerima sinyal feedback dari time step sebelumnya. Unit ini dikenal dengan nama context unit [9]. Dengan demikian, input layer terdiri dari dua bagian, unit input sebenarnya dan context unit. Context unit adalah salinan dari aktivasi hidden unit. Berikut ini adalah gambar arsitektur dari Elman RNN:



Gambar 2.4 Arsitektur Elman RNN
(Sumber: www.researchgate.net)

2.7 MSE

Mean Square Error (MSE) adalah salah satu metode dalam mengevaluasi hasil peramalan. Masing-masing keluaran atau sisa dikuadratkan. Kemudian dijumlahkan dan ditambahkan dengan jumlah observasi. Error digunakan untuk mengetahui bagaimana perbedaan antara hasil peramalan dengan target yang menjadi acuan. Berikut ini adalah rumus penghitungan dari MSE:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - F_i)^2}{n} \dots \dots \dots (1)$$

n = Jumlah Sampel

X_i = Nilai actual indeks

F_i = Nilai prediksi indeks

2.8 Pemodelan Busur Api Listrik

Kebutuhan untuk menganalisa arus arc tegangan rendah semakin meningkat mengingat banyaknya pelanggan rumah tangga. instalasi rumah tangga seringkali masih dibawah standar. Beberapa kabel yang terkelupas masih dibiarkan begitu saja sehingga jika terjadi kontak diantara kedua kabel yang terkelupas tersebut maka terjadilah hubung singkat yang memicu munculnya busur api.

Di tahun 1941, schurig memaparkan bahwa tegangan arc biasanya memiliki puncak yang datar dan besar arus arcing-fault berada diantara 57% sampai 100% dari arus hubung singkat [10]. Meskipun nilai pastinya masih diperdebatkan, besar dari arus arc adalah variable. Nilainya tergantung dari banyak faktor, termasuk impedansi dari ground path.

Riset yang dipublikasikan pada 1948 menunjukkan bahwa arus arc selama setengah cycle pertama, akibat bentuk gelombang asimetris, dapat melampaui arus hubung singkat simetris; dari banyak percobaan, arcing fault dapat hilang dan dipadamkan dengan kurang dari 10 cycle

Pada Tahun 1993, Jhon Matthew mengembangkan model umum dari arc flash sesaat untuk sistem resistif dan induktif. Kemudian pada tahun 1999 Gammon mengembangkan model arc flash berdasarkan waktu saat terjadi arc flash.

Pada Tahun 2015, Sanjaya membuat pemodelan busur api listrik tegangan rendah dengan beban resistif. Pemodelan ini menggunakan

program Simulink dan menggunakan neural network dengan metode feed forward backpropagation [11]. Namun, model yang dibuat masih memiliki kekurangan dari jumlah serabut yang terbatas dan fenomena arc yang terjadi pada waktu yang tidak dapat berubah. Pemodelan yang dilakukan oleh Sanjaya menjadi acuan utama dalam pembuatan pemodelan ini

Instalasi rumah tangga umumnya memiliki beban resistif murni. Maka dari itu diperlukan sebuah pemodelan arc tegangan rendah yang memiliki karakteristik gelombang yang memiliki beban resistif murni. Maka dari itu, model yang dibuat pada penelitian ini memiliki beban resistif pula.

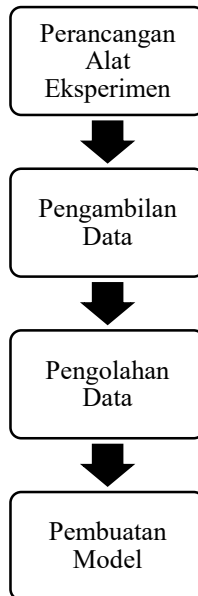
Tujuan dari melakukan pemodelan busur api listrik tegangan rendah adalah untuk memudahkan peneliti dalam melakukan analisa *arc flash* tegangan rendah. Peneliti tidak perlu lagi melakukan eksperimen untuk mengetahui bentuk gelombang busur api listrik tegangan rendah sehingga dapat fokus pada analisa lainnya.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB III

PENGAMBILAN DATA DAN PEMBUATAN MODEL BUSUR API LISTRIK TEGANGAN RENDAH

Dalam bab ini akan metodologi dalam melakukan penelitian. Skema penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Skema Penelitian

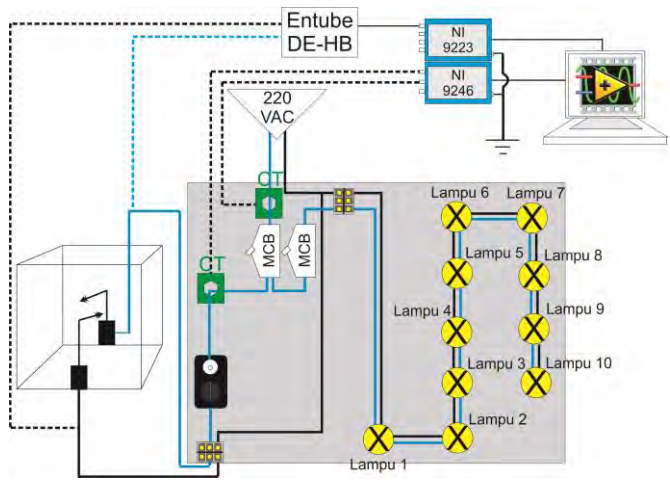
Adapun perincian dari alur penelitian pada skema diatas adalah sebagai berikut:

3.1 Perancangan Alat Eksperimen

Dalam tugas akhir ini, peristiwa *arc flash* tegangan rendah dibuat dengan menggunakan eksperimen di laboratorium. Penelitian ini diawali dengan perancangan alat eksperimen. Alat tersebut merupakan representasi sebuah instalasi listrik sederhana dengan menggunakan sumber listrik PLN, sebuah fuse, beban lampu bohlam sebanyak 10

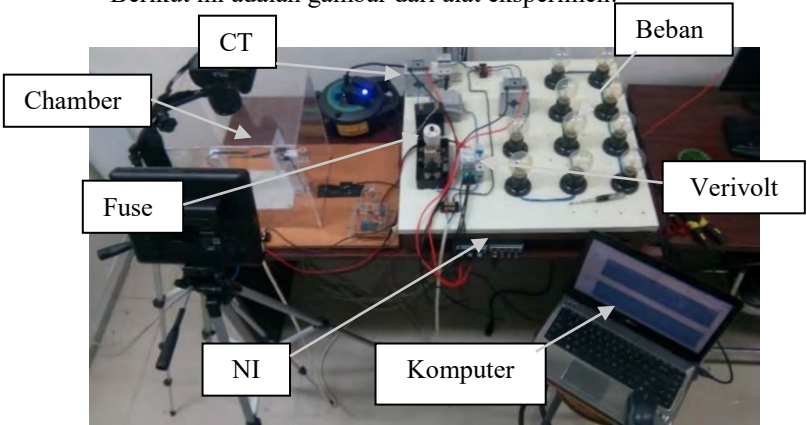
buah, dua buah *Current Transformator*, sebuah *Verivolt* dan dua kabel yang dipasang paralel dengan sistem yang serabutnya terbuka.

Berikut ini adalah skema dari alat eksperimen busur api listrik tegangan rendah:



Gambar 3.2 Skema Alat Eksperimen Busur Api Listrik Tegangan Rendah

Berikut ini adalah gambar dari alat eksperimen:



Gambar 3.3 Alat Penelitian

Adapun Perincian dari alat percobaan pada gambar 3.2 dapat dijabarkan sebagai berikut:

3.1.1 Sumber Tegangan

Sumber dari alat percobaan dalam penelitian ini berasal dari PLN 1 fasa dengan V_{rms} 220 V dan frekuensi 50 Hz.

Nilai diatas bukanlah nilai yang pasti karena sumber PLN memiliki sedikit eror yang nilainya tidak jauh dari nilai tersebut.

3.1.2 Kabel Fleksibel NYMHY

Kabel yang dimaksud disini adalah kabel yang terhubung paralel dengan sistem untuk kemudian mengalami kejadian hubung singkat. Kabel tersebut adalah kabel fleksibel 2x2.5 mm² sepanjang 17 m. Alasan menggunakan kabel ini sebagai bahan penelitian adalah karena kabel ini digunakan untuk instalasi rumah tangga seperti kabel olor, power laptop, dan lain-lain. Kabel olor seringkali mengalami kegosongan akibat dari penggunaan yang tidak tepat atau isolasi yang rusak, hal ini yang kemudian dapat memacu terjadinya kebakaran. Maka dari itu digunakanlah kabel NYMHY sebagai kabel yang diteliti dalam penelitian ini. Untuk menentukan nilai resistansi dari kedua kabel tersebut dapat melihat tabel konduktivitas oleh Riza dibawah ini:

Tabel 3.1 Hambatan Kabel

Kabel		Arus (A)	Tegangan (V)	Panjang (m)	A (m ²)	R (Ω)
0,75 mm ²	Dua Konduktor	10.1	0.21	1	0.0000015	0.020792
	Biru	8.7	0.35	1	7.5E-07	0.04023
	Hitam	8.9	0.36	1	7.5E-07	0.040449
	1 Serabut	0.8	0.78	1	3.125E-08	0.975
1,5 mm ²	Dua Konduktor	8.4	0.33	1	0.000003	0.039286
	Biru	6.1	0.45	1	0.0000015	0.07377
	Hitam	5.5	0.49	1	0.0000015	0.089091
	1 Serabut	0.6	0.86	1	6.25E-08	1.433333
2,5 mm ²	Dua Konduktor	9.6	0.32	1	0.000005	0.033333
	Biru	6.8	0.44	1	0.0000025	0.064706
	Hitam	6.3	0.44	1	0.0000025	0.069841
	1 Serabut	0.6	0.88	1	7.813E-08	1.466667

Berdasarkan table diatas, nilai hambatan untuk kabel hitam dan kabel biru dengan diameter 2,5 mm² dan panjang 17 m adalah sebesar 1.187 Ω dan 1.1 Ω

3.1.4 Fuse box

Fuse box digunakan sebagai pengaman pada paralel. Rating fuse tersebut sebesar 6A. hal ini dimaksudkan untuk menyimulasikan perumahan yang memiliki kapasitas daya 1300 VA sekaligus menguji apakah fuse dapat mengamankan arus hubung singkat yang diiringi oleh fenomena busur api listrik. Adapun untuk instalasi rumah tangga yang awam terhadap listrik disarankan menggunakan fuse karena fuse dapat dilepas ketika hendak melakukan perbaikan pada instalasi.



Gambar 3.4 Fuse 6A

3.1.4 Beban

Pada penelitian kali ini menggunakan beban lampu bohlam dengan spesifikasi 220 VA 100 Watt sebanyak 10 buah yang dihubungkan secara paralel. Karena bebannya bersifat resistif, maka factor daya = 1. beban total dari percobaan ini sebesar 1000 Watt.

3.1.5 Chamber

Chamber terbuat dari bahan akrilik dengan ukuran 30 cm, 15 cm, 20 cm dengan ketebalan 0,2 mm. Chamber ini digunakan untuk melindungi peneliti dari percikan api ketika terjadi busur api. Kelebihan dari chamber ini adalah peneliti masih dapat melihat fenomena busur api dikarenakan bahan akrilik merupakan bahan yang transparan.



Gambar 3.5 Chamber Akrilik

3.1.6 Trafo Arus

Trafo arus digunakan untuk mengukur arus pada sumber dan pada kabel paralel tempat terjadi hubung singkat. Fungsi dari trafo arus adalah menurunkan nilai arus untuk keamanan alat ukur agar menghindari nilai arus yang diamati melebihi batas nilai yang diijinkan pada alat ukur. Adapun ratio dari CT yang digunakan adalah 200/5.



Gambar 3.6 CT Powell MSQ-30

Tabel 3.2 Spesifikasi CT

Jenis CT	Powell MSQ-30
Rasio CT	200/5
Class CT	1
Burden CT	5
Range Frekuensi	50-60Hz

3.1.7 NI 9246 dan NI 9223

NI 9246 dan NI 9223 adalah sebuah alat *data acquisition* atau alat akuisisi data. Alat ini adalah keluaran dari National Instrument. Dalam penggunaannya, alat ini akan terhubung ke PC dan dikontrol menggunakan program Labview. NI 9246 adalah alat yang digunakan untuk mengukur arus, dalam hal ini adalah arus sumber dan arus arcing, sedangkan NI 9223 adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan, dalam hal ini adalah tegangan sumber.



Gambar 3.7 NI 9223 dan NI 9246

Tabel 3.3 Spesifikasi NI 9223 dan NI 9246

NI 9223	
Range Tegangan Input	+/- 10 V
Impedansi Input	>1 GΩ
Sample Rate	1 MHz
NI 9246	
Range Arus Input	+/- 20 A
Sample Rate	50 Hz

3.1.8 Verivolt Entube DE-HB

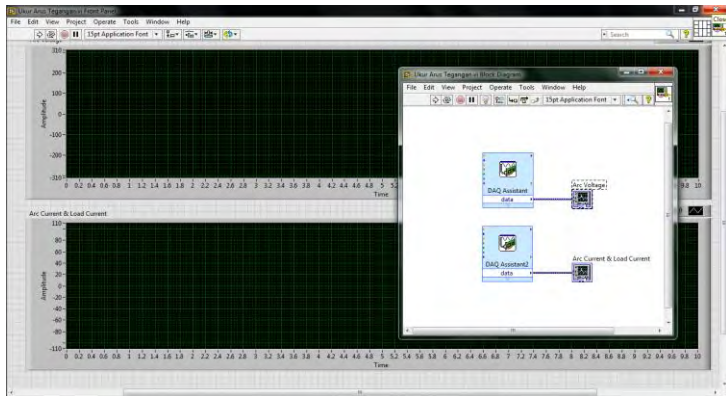
Penggunaan DAQ memerlukan impedansi yang tinggi. Dalam hal ini, untuk mengukur tegangan secara dengan probe tegangan konvensional tidaklah memungkinkan. Maka dari itu digunakanlah alat ini. Verivolt Entube DE-HB merupakan sensor tegangan dengan masukan tegangan maksimal 2000V, dan tegangan output maksimal 10V. alat ini akan terhubung dengan NI 9223.



Gambar 3.8 Verivolt

3.1.9 Komputer

Komputer digunakan untuk mengontrol proses akusisi data. Software yang digunakan adalah NI LabVIEW kemudian data tersebut diolah menggunakan Diadem. Berikut ini adalah layout dari pengambilan data menggunakan LabVIEW



Gambar 3.9 Software LabVIEW

3.2 Pengambilan Data

Setelah semua sudah terangkai dengan baik seperti layout pada gambar 3.1, proses pengambilan data pun dimulai. Adapun langkah-langkah akusisi data dari percobaan busur api listrik pada tegangan rendah adalah sebagai berikut:

1. Pada keadaan mula-mula semua peralatan dalam kondisi off, termasuk circuit breaker yang dekat dengan sumber
2. Hidupkan computer dan sambungkan stop kontak instalasi, adaptor verivolt, dan adaptor motor penggerak kabel pada listrik PLN
3. Sambungkan NI 9246 pada CT kemudian sisi lainnya pada computer berupa sambungan USB dan NI 9223 pada verivolt kemudian sisi lainnya pada computer berupa sambungan USB pula
4. Buka program LabVIEW pada computer kemudian buatlah blok seperti yang ada pada gambar. Setting masing-masing blok sehingga terkoneksi pada masing-masing DAQ baik arus maupun tegangan. Kemudian atur skalanya sesuai dengan

masing-masing alat bantu ukur. Atur jumlah sampel menjadi 100K dan jumlah sampel per detik 10K. centang enable logging pada masing-masing DAQ dan tentukan tempat tujuan penyimpanan agar muncul hasil percobaan dalam format .tdms yang kemudian diolah menggunakan Diadem.

5. Kupas kedua ujung kabel paralel sesuai dengan percobaan. Dalam hal ini dilakukan percobaan menggunakan serabut 1,3,6,12,24 dengan masing-masing serabut sebanyak 10 percobaan.
6. Setelah semua siap, nyalakan circuit breaker yang dekat dengan sumber, kemudian pastikan fuse pada kabel paralel dalam keadaan nyala pula.
7. Run program LabVIEW, kemudian gerakkan salah satu ujung kabel paralel menggunakan motor sehingga kedua ujung kabel mengalami kontak dan terjadilah hubung singkat. Kemudian muncullah fenomena busur api listrik sesuai pada gambar
8. Jangan tekan abort pada program LabVIEW. Biarkan program berhenti sendiri saat jumlah data yang diambil sudah mencapai 100K. jika kita menekan abort, akan berakibat pada jumlah data arus dan tegangan tidak sama, hal ini berakibat pada bentuk gelombang yang tidak cocok
9. Setelah proses akusisi data menggunakan LabVIEW selesai, cabut stop kontak dan adaptor dari sumber listrik
10. Buka software Diadem. Akan terlihat arus dan tegangan tidak dalam satu fasa. Hal ini adalah efek dari proses akusisi data yang menggunakan dua DAQ untuk arus dan tegangan. Kemudian hapus data pada tegangan hingga dapat bergeser dan sefasa dengan arus. Hapus data-data dari arus dan tegangan yang tidak diinginkan.

3.3 Pengolahan Data

Setelah dilakukan akusisi data, maka proses selanjutnya adalah pengolahan dari data tersebut. beberapa parameter kemudian ditentukan untuk dapat merepresentasikan karakteristik fenomena dari busur api pada tegangan rendah

3.3.1 Energi

Energi adalah jumlah daya dalam satuan waktu. Dalam percobaan ini, energi digunakan untuk menentukan R arc. Energi yang diambil

adalah energi di tempat terjadi arc. Energi dihitung mulai dari saat terjadi arc.

$$E = V \times I \times \Delta t.....(2)$$

3.3.2 Hambatan Arcing

Nilai hambatan yang dimaksud disini adalah resistansi pada tempat terjadinya busur api listrik, kita namakan dengan Rarc. Nilai dari R arc didapatkan dari:

$$R_{total} = \frac{V_{sumber}}{I_{sumber}}.....(3)$$

R total merupakan nilai dari seluruh resistansi sistem. Adapun nilai R total dapat dijabarkan menjadi

$$R_{total} = \frac{R_{seri} \times R_{beban}}{R_{seri} + R_{beban}}.....(4)$$

R seri adalah representasi dari hambatan pada kabel paralel tempat terjadinya hubungan singkat. Adapun rumus dari R seri menjadi

$$R_{seri} = \frac{R_{total} \times R_{beban}}{R_{total} - R_{beban}}.....(5)$$

Adapun R seri terdiri dari R arc, R kabel hitam, dan R kabel biru yang terhubung secara seri. Maka dari itu, rumus R arc adalah

$$R_{arc} = R_{seri} - R_{kabel\ hitam} - R_{kabel\ biru}.....(6)$$

Setelah didapatkan nilai R arc, nilai tersebut digunakan untuk menjadi target pelatihan Neural Network yang berfungsi sebagai karakteristik dari gelombang busur api.

3.4 Pembuatan Model

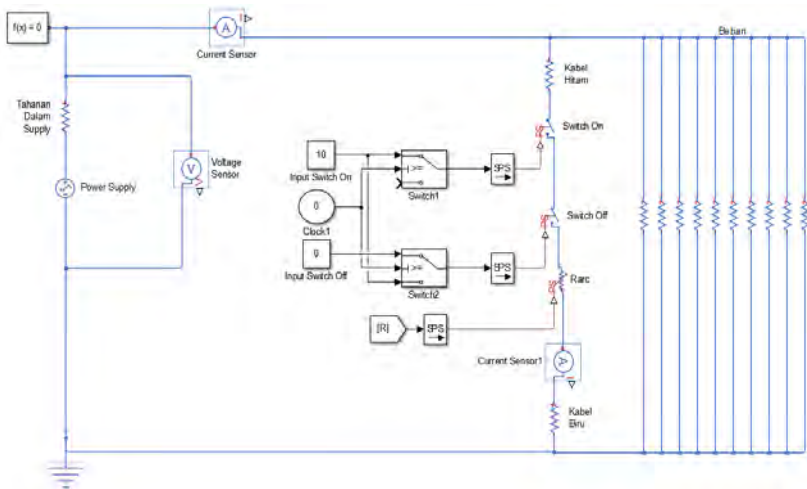
Pemodelan dilakukan menggunakan software matlab. Rangkaian ini terdiri dari power supply, hambatan dalam, R kabel hitam dan biru, R arc, switch on, switch off, dan R beban.

Didalam rangkaian tersebut ditambahkan sensor arus yang diletakkan dekat dengan sumber dan pada kabel paralel. Kemudian sensor tegangan pada node atas dan bawah. Di tempat R arc ditambahkan dengan neural network untuk mengatur keluaran R arc

sesuai dengan jumlah serabut dan energinya. Kemudian pada ujung-ujung *voltage sensor* dan *current sensor* diletakkan berbagai blok yang digunakan untuk menghitung energi total mulai ketika terjadi hubung singkat hingga simulasi selesai. Adapun perincian dari masing-masing komponen pemodelan adalah sebagai berikut:

3.4.1 Blok Rangkaian Utama

Berikut ini adalah gambar dari rangkaian utama dari penelitian ini.



Gambar 3.10 Rangkaian Utama

Adapun bagian-bagian dari blok ini adalah sebagai berikut:

3.4.1.1 Power Supply

Blok *power supply* merupakan representasi dari sumber listrik PLN yang memiliki spesifikasi 1 fasa, 220 VAC, 50 Hz. Pada blok ini terdapat hambatan dalam yang nilainya diatur sedemikian rupa sehingga memiliki output pemodelan yang sesuai dengan output percobaan. Pada komponen sumber AC terdapat kolom bertuliskan peak amplitude. Karena sumber tegangan 220 V, maka peak amplitude menjadi $200 \text{ VRMS} \times \sqrt{2} = 311.13 \text{ V}$



Gambar 3.11 Rangkaian *Power Supply*

Tabel 3.4 Parameter Blok *Power Supply*

Power Supply	
Peak Amplitude	311.13 V
Beda Fasa	0°
Frekuensi	50 Hz
Hambatan Dalam	
Hambatan	0.3 Ω

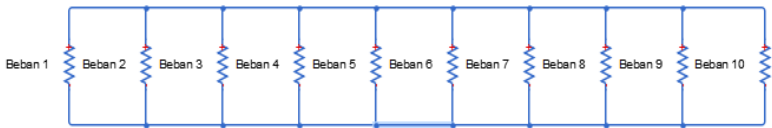
3.4.1.2 Beban

Beban dalam eksperimen ini adalah lampu bohlam sebanyak 10 buah dengan masing-masing memiliki daya 100 Watt. Didalam pemodelan ini, beban direpresentasikan dengan sebuah resistor. Adapun nilai dari masing-masing beban adalah sebagai berikut

$$R = \frac{V^2}{P} \dots \dots \dots (7)$$

$$R = \frac{220^2}{100}$$

$$R = 484 \, \Omega$$



Gambar 3.12 Rangkaian Beban

Tabel 3.5 Parameter Beban

Beban	Hambatan (Ω)
Beban 1	484
Beban 2	484
Beban 3	484
Beban 4	484
Beban 5	484
Beban 6	484
Beban 7	484
Beban 8	484
Beban 9	484
Beban 10	484

3.4.1.3 Kabel Paralel

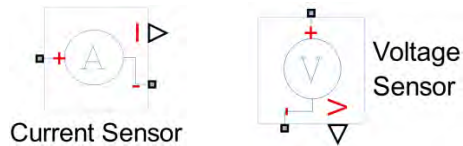
Kabel hitam dan kabel biru yang saling terhubung seri dipasang secara paralel terhadap sumber. Kedua kabel ini adalah kabel fleksibel dengan panjang 17m. Nilai resistansi dari kedua kabel ini berdasarkan table yang sudah dijelaskan diatas.

**Gambar 3.13** Rangkaian Kabel Paralel**Tabel 3.6** Parameter Kabel Paralel

Kabel	Hambatan (Ω)
Kabel Hitam	1.187
Kabel Biru	1.1

3.4.1.4 Blok Sensor

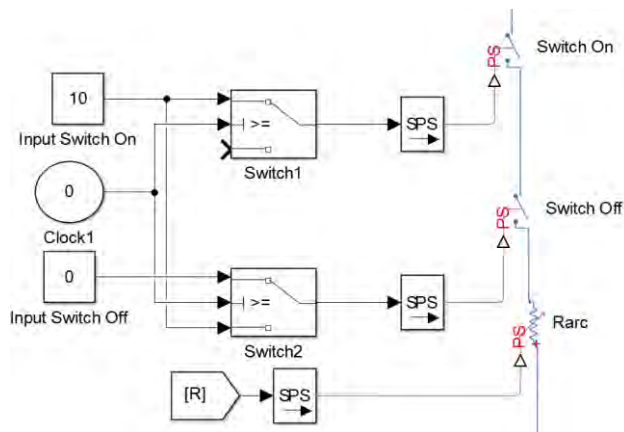
Terdapat dua sensor utama, yaitu sensor arus dan sensor tegangan. Sensor tegangan berjumlah satu buah digunakan untuk mengukur tegangan yang diletakkan dekat dengan sumber. Adapun sensor arus berjumlah dua buah digunakan untuk mengukur arus sumber dan arus arc. Tegangan sumber dan arus arc kemudian dihubungkan dengan time scope. Sedangkan arus sumber digunakan untuk menghitung energy sumber.



Gambar 3.14 Sensor Tegangan dan Arus

3.4.2 Blok Hubung Singkat

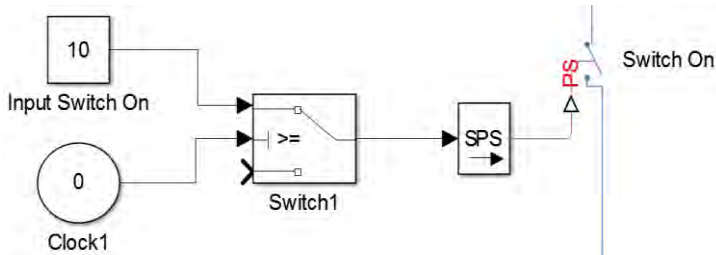
Kejadian hubung singkat yang mengakibatkan terjadinya busur api direpresentasikan dengan dua buah switch dan sebuah resistor variabel. Switch pertama digunakan sebagai switch on, aktif ketika hubung singkat dimulai. Switch kedua digunakan sebagai switch off, aktif ketika hubung singkat selesai. Adapun resistor variabel digunakan untuk menentukan karakteristik gelombang hubung singkat.



Gambar 3.15 Rangkaian Model Hubung Singkat

Adapun perincian dari blok ini adalah sebagai berikut

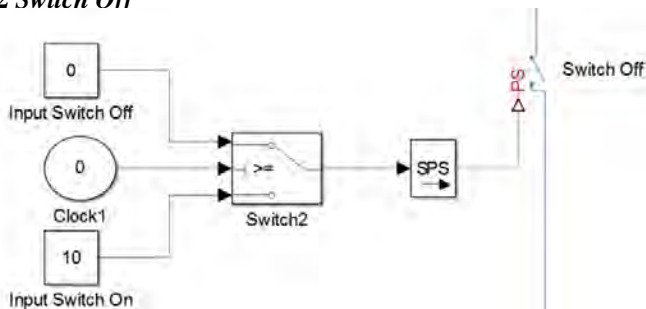
3.4.2.1 Switch On



Gambar 3.16 Rangkaian *Switch On*

Rangkaian ini adalah rangkaian *switch on*. Rangkaian ini berfungsi untuk mengatur kapan hubung singkat mulai terjadi. Switch1 memiliki dua port yang terisi, yakni input port dan control port. Input port bernilai 10 yang nilainya lebih besar dari threshold switch on sehingga menyebabkan switch on short. Control port disambungkan dengan clock agar pengaturan perpindahan switch1 ke arah input port diatur berdasarkan waktu. Adapun threshold dari switch 1 mendandakan kapan waktu hubung singkat dimulai.

3.4.2.2 Switch Off

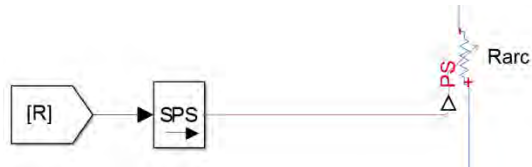


Gambar 3.17 Rangkaian *Switch Off*

Rangkaian ini adalah rangkaian *switch off*. Rangkaian ini berfungsi untuk mengatur kapan hubung singkat berakhir. Switch2 memiliki tiga port yang terisi, yakni input port atas, input port bawah dan control port. Input port atas bernilai 0 yang nilainya lebih kecil dari threshold switch off sehingga menyebabkan switch off open. Input port

bawah bernilai 10 yang merupakan nilai inisiasi switch2 sebelum berpindah ke input port atas. Control port disambungkan dengan clock agar pengaturan perpindahan switch2 ke arah input port diatur berdasarkan waktu. Adapun threshold dari switch2 mendandakan kapan waktu hubung singkat berakhir.

3.4.2.3 Rangkaian Rarc

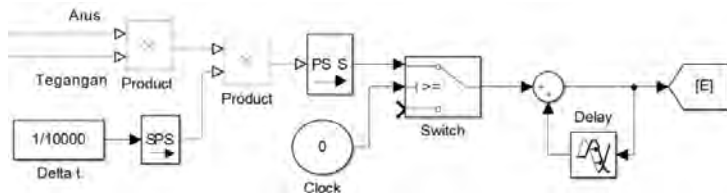


Gambar 3.18 Rangkaian Rarc

Gambar ini adalah rangkaian hambatan arc. Dimana nilai R arc berasal dari From R yang mendapatkan input berasal dari blok neural network

3.4.3 Rangkaian Penghitung Energi

Rangkaian ini berfungsi untuk menghitung energy total yang dimulai ketika terjadi hubung singkat. Blok ini mendapatkan masukan dari keluraran sensor arus arc dan sensor tegangan. Kemudian kedua sensor tersebut dikalikan lintas melalui switch yang mendapatkan trigger berupa clock dengan threshold sesuai dengan waktu hubung singkat yang diinginkan. Kemudian nilai dari energy pada waktu tertentu masuk ke dalam blok sum yang kemudian akan terjadi penambahan secara feedback dengan delay sebesar waktu per sample yakni 0.0001 s. adapun keluaran dari rangkaian ini dimasukkan ke output & display dan JST.

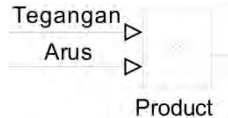


Gambar 3.19 Rangkaian Penghitung Energi

Dalam rangkaian di gambar 3.7 terdapat berbagai macam komponen didalamnya. Adapun penjelasan dari masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

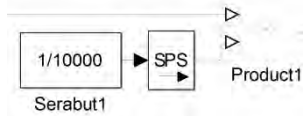
3.4.3.1 PS Product

Pada penelitian kali ini, PS Product sebanyak dua buah



Gambar 3.20 Product 1

PS Product yang pertama berfungsi untuk mengalikan nilai Arus yang berasal dari Current Sensor dengan Tegangan yang berasal dari Voltage Sensor

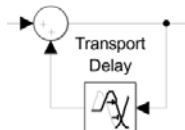


Gambar 3.21 Product 2

PS Product yang kedua terdapat dua input. Input yang pertama adalah hasil pengali dari PS Product yang sebelumnya, yakni $V \times I$. Input yang kedua adalah representasi dari Δt sebesar $1/10000$. Output dari PS Product yang kedua adalah energi.

3.4.3.2 Sum & Delay

Sum adalah komponen yang berfungsi untuk menjumlahkan dua input. Salah satu input adalah feedback dari output pada time step sebelumnya. Sedangkan delay berfungsi untuk memberikan jarak waktu untuk penjumlahan feedback. Input dari komponen ini adalah energi dan feedback nilai energi pada time step sebelumnya.



Gambar 3.22 Sum & Delay

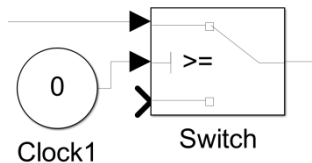
Tabel 3.7 Parameter Delay

Time Delay	0.0001
Initial Output	0
Initial Buffer Size	1024

Nilai time delay disesuaikan dengan nilai Δt , sebesar 0.0001. Hal ini bertujuan agar penjumlahan dari nilai energi terhadap waktu dapat sebanding dengan laju sampel

3.4.3.3 Switch & Clock

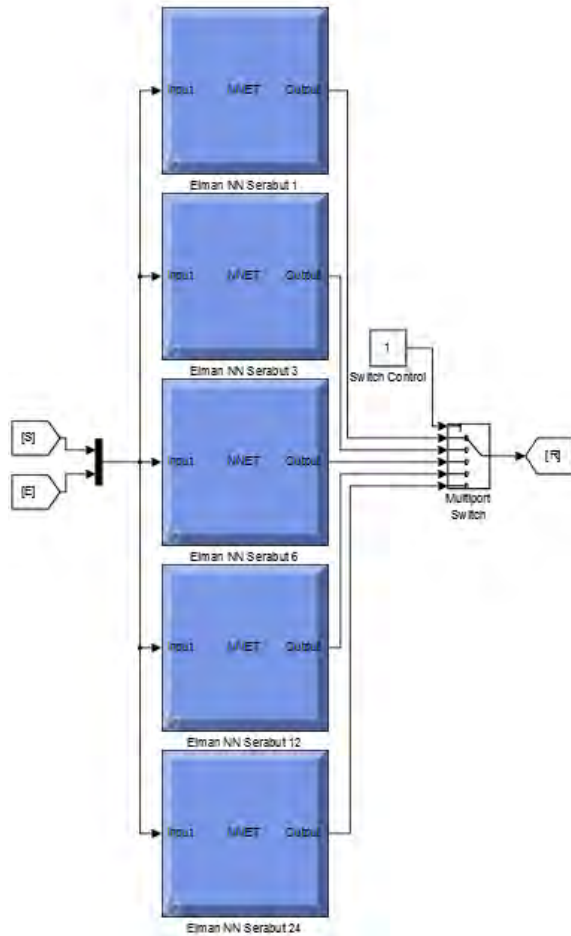
Switch memiliki dua jenis input. Yakni control port dan input port. Pada pemodelan ini input port diisi oleh clock. Switch memiliki nilai threshold. Nilai threshold menjadi batas switch untuk on ke sisi input. Ketika nilai control port sudah mencapai nilai threshold, switch akan on ke sisi input port. Dengan demikian, rangkaian ini berfungsi untuk mengatur kapan nilai energi dapat mulai dihitung sesuai dengan waktu arcing dimulai. Dibawah ini adalah gambar switch.



Gambar 3.23 Switch Energi

3.4.4 Blok Jaringan Saraf Tiruan

Pada penelitian kali ini digunakan sebuah JST yaitu sebagai penentu nilai dari R arc. Input dari JST ini adalah jumlah serabut dan energi. Adapun metode yang digunakan adalah elman neural. Blok JST ini didapatkan menggunakan library matlab yang kemudian dilatih sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditentukan. Neural network yang digunakan adalah neural network dari masing-masing serabut. Adapun switch control menentukan neural network mana yang akan dieksekusi.



Gambar 3.24 Blok Jaringan Saraf Tiruan

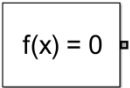
Seperti yang sudah diterangkan sebelumnya, input dari JST kali ini adalah jumlah serabut dan jumlah energi. Adapun outputnya adalah Rarc. Dalam rangkaian diatas, nilai S adalah representasi dari jumlah serabut, nilai E adalah representasi dari jumlah energy dan nilai R adalah representasi dari nilai Rarc

3.4.5 Komponen Pendukung

Komponen pendukung disini memiliki peran untuk melengkapi rangkaian-rangkaian utama yang ada diatas. Adapun detail dari komponen pendukung adalah sebagai berikut:

3.4.5.1 Solver Configuration

Komponen ini adalah komonen fisikal yang harus ada dalam setiap rangkaian fisikal pada Simulink. *Solver configuration* berfungsi untuk menentukan banyaknya *sample rate* pada pemodelan. Karena dalam percobaan menggunakan *sample rate* 10.000 sampel/detik, maka pada sample time diinputkan nilai 0.0001 yang merupakan representasi dari nilai Δt .



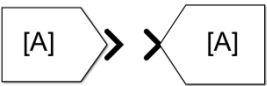
Gambar 3.25 *Solver Configuration*

Tabel 3.8 Parameter *Solver Configuration*

Consistency	1e-09
Sample Time	0.0001
Nonlinear Equation	3

3.4.5.2 From & GoTo

Komponen ini adalah komonen Simulink. From berfungsi untuk menerima sinyal dari GoTo yang memiliki label yang sama. Goto mendapatkan masukan dari rangkaian yang ada dibelakangnya, adapun from memberikan masukan pada rangkaian yang ada didepannya



Gambar 3.26 From & GoTo

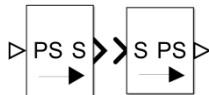
Tabel 3.9 Label From & GoTo

Label	Keterangan
A	Arus
V	Tegangan
E	Energi
R	Rarc
S	Serabut

Dalam penelitian ini, terdapat lima label yakni A sebagai representasi dari Arus, V sebagai Tegangan, E sebagai Energi, R sebagai Rarc dan S sebagai Serabut.

3.4.5.3 S-PS & PS-S

Simulink to Physical Signal Converter (S-PS) adalah sebuah komponen yang berfungsi untuk mengubah nilai simulink menjadi nilai fisikal. Sedangkan Physical to Simulink Converter (PS-S) adalah sebuah komponen yang berfungsi untuk mengubah nilai fisikal menjadi nilai Simulink. Kedua komponen ini digunakan dalam rangkaian pemodelan yang dapat berupa komponen fisikal maupun komponen Simulink.



Gambar 3.27 PS-S & S-PS

3.4.5.4 Display

Komponen ini berfungsi untuk menampilkan nilai dari sebuah masukan dalam timesetep tertentu. Adapun nilai yang ditampilkan adalah nilai arus arcing, tegangan sumber, energi sumber, dan Rarcng.

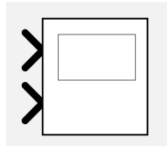


Gambar 3.28 Display

3.4.5.5 Scope

Komponen ini berfungsi untuk menampilkan sebuah masukan dalam bentuk gambar. Dalam penelitian ini, *scope* digunakan untuk

menampilkan bentuk gelombang dari tegangan sumber dan arus arcing yang sebelumnya terbaca oleh voltage sensor dan current sensor



Gambar 3.29 *Scope*

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB IV

PELATIHAN JST DAN PERBANDINGAN PEMODELAN

Pada bab ini akan ditampilkan hasil dari pemodelan arus arcing tegangan rendah dengan menggunakan Elman Neural Network. pembahasan akan mencakup bentuk arus pemodelan disbandingkan arus percobaan dan hasil train Elman Neural network

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan tahap pembuatan model. Kemudian telah dijelaskan bahwa penelitian ini menggunakan serabut 1,3,6,12 dan 24 pada kabel fleksibel 2,5 mm².

4.1 Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Dalam melakukan pelatihan pada jaringan saraf tiruan dengan metode Elman Neural Network, telah disebutkan sebelumnya bahwa pembuatan perangkat JST menggunakan toolbox pada matlab.

Dalam menentukan parameter-parameter yang digunakan tidak ada teori yang meyakinkan. Namun, berdasarkan literatur yang ada, disebutkan bahwa untuk arsitektur neural network yang memiliki input lebih dari satu, disarankan tidak menggunakan lebih dari dua hidden layer. Selebihnya, dalam pelatihan ini menggunakan proses trial and error untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Algoritma pelatihan TRAINLM dipilih karena diyakini merupakan algoritma pelatihan yang paling presisi dibandingkan algoritma pelatihan lainnya.

4.1.1 Penentuan Jenis Pelatihan

Seperti yang sudah disebutkan diatas, metode pelatihan TRAINLM adalah yang paling presisi, namun, hal ini perlu dibuktikan lebih lanjut. Maka dari itu, akan diuji berbagai macam metode pelatihan yang digunakan untuk memodelkan gelombang serabut 1. Parameter-parameter lainnya seperti jumlah hidden layer, jumlah neuron, dan lain-lain dibuat sama. Hasilnya adalah:

Tabel 4.1 Perbandingan Metode Pelatihan

Metode Pelatihan	Hidden Layer	Neuron	MSE
TRAINRP	2	10	0.412
TRAINLM	2	10	0.000116
TRAINBR	2	10	0.51
TRAINSCG	2	10	0.274

Dari percobaan diatas, jenis pelatihan yang terbaik adalah dengan menggunakan metode TRAINLM

4.1.2 Penentuan Jumlah Lapis Tersembunyi

Sesuai dengan pernyataan sebelumnya, bahwa jumlah hidden layer dengan input lebih dari satu sebaiknya tidak lebih dari 2. Namun disini akan diuji berbagai jumlah hidden layer dengan parameter-parameter lainnya dibuat sama pula. Hasilnya adalah:

Tabel 4.2 Perbandingan Hidden Layer

Hidden Layer	Metode Pelatihan	Neuron	MSE
1	TRAINLM	10	31.5
2	TRAINLM	10	0.000116
3	TRAINLM	10	0.882
4	TRAINLM	10	0.438

Dari percobaan diatas, jumlah hidden layer yang terbaik adalah sebanyak 2 hidden layer

4.1.3 Penentuan Jumlah Neuron

Pengujian yang terakhir adalah dengan menentukan jumlah neuron. Jika mengikuti script neural network pada matlab, *default* dari neuron adalah 10. Berikut ini hasil pengujian nilai neuron:

Tabel 4.3 Perbandingan Neuron

Neuron	Metode Pelatihan	Neuron	MSE
5	2	TRAINLM	0.000141
10	2	TRAINLM	0.000116
15	2	TRAINLM	0.498
20	2	TRAINLM	0.0000976

Dari percobaan diatas, jumlah neuron yang terbaik adalah sebanyak 10 neuron

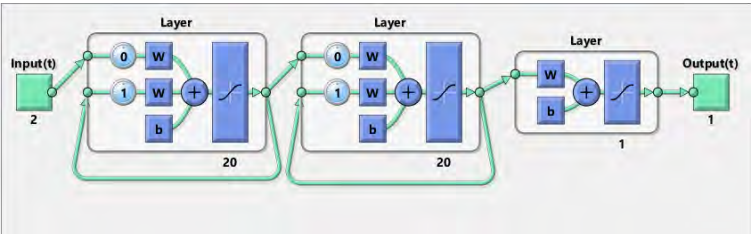
4.1.4 Pembuatan Neural Network

Setelah berbagai percobaan diatas, diketahui parameter-parameter terbaik dibanding dengan parameter lainnya. Dapat disimpulkan jenis-jenis parameter yang dipilih adalah:

Tabel 4.4 Pemilihan Parameter

Metode	Metode Train	Jumlah Hidden Layer	Jumlah Neuron
Elman Backprop	TRAINLM	2	20

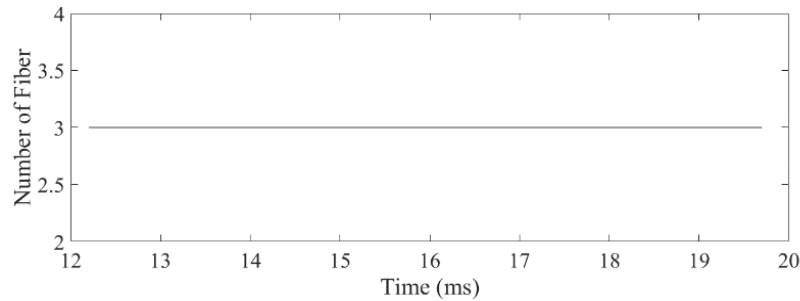
Adapun arsitektur dari neural network yang digunakan adalah sebagai berikut



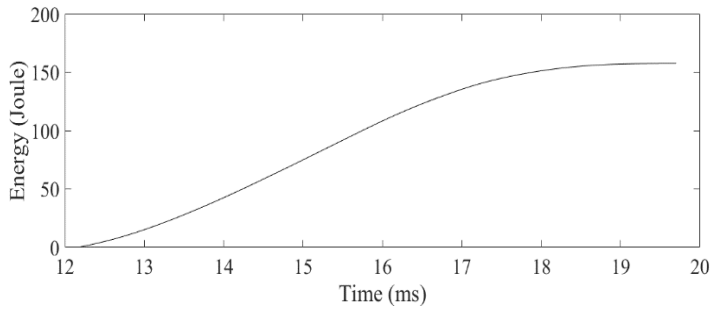
Gambar 4.1 Arsitektur Elman

4.1.5 Penentuan Input & Target Pelatihan

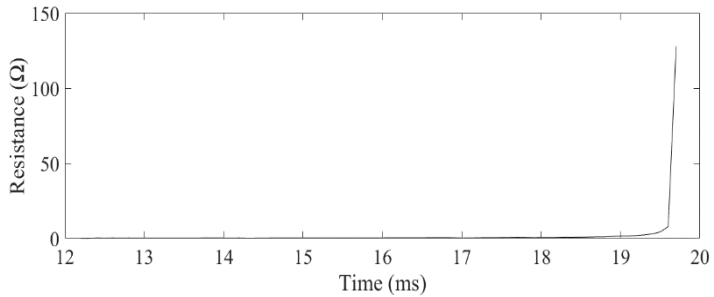
Setelah arsitektur NN dibuat, kemudian yang dilakukan adalah penentuan input dan target pelatihan NN tersebut. dalam penelitian kali ini, input dari neural network ada dua, yakni serabut dan jumlah energy. Sedangkan targetnya adalah R arcing. Berikut ini adalah gambar dari input dan target serabut 3:



Gambar 4.2 Jumlah Serabut



Gambar 4.3 Jumlah Energi



Gambar 4.4 R Arcing

4.1.6 Memulai Pelatihan & Monitoring

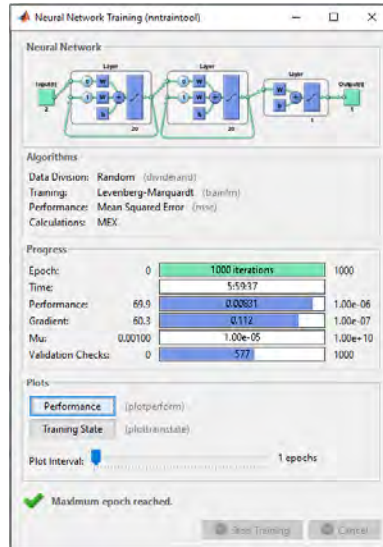
Setelah input dan target pelatihan ditentukan, berikutnya adalah menentukan parameter-parameter pelatihan di dalam neural network yang telah dibuat. Dalam penelitian ini, parameternya adalah sebagai berikut

Tabel 4.5 Parameter Pelatihan

showWindow	True
showWindow	False
Show	100
Epochs	1000
Time	Inf
Goal	1e-06
Min-grad	1e-07
Max-fail	1000
Mu	0.001
mu_dec	0.1
Mu inc	10
mu_max	10000000000

Tabel diatas adalah parameter-parameter tambahan ketika melakukan proses training. Epochs adalah jumlah iterasi, Goal adalah nilai error yang diinginkan dan Max-fail adalah jumlah kesalahan yang diijinkan. Jika jumlah kesalahan sudah lebih dari nilai yang ditentukan, maka proses training akan berhenti sekalipun jumlah iterasi masih memungkinkan untuk melanjutkan proses pelatihan.

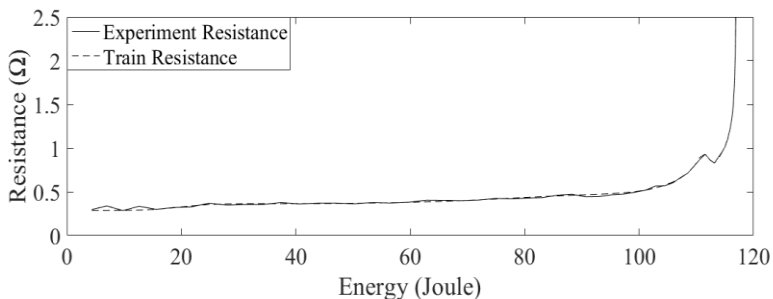
Setelah parameter ditentukan, train dapat dimulai. Berikut ini adalah contoh monitoring train pada kabel serabut 24:



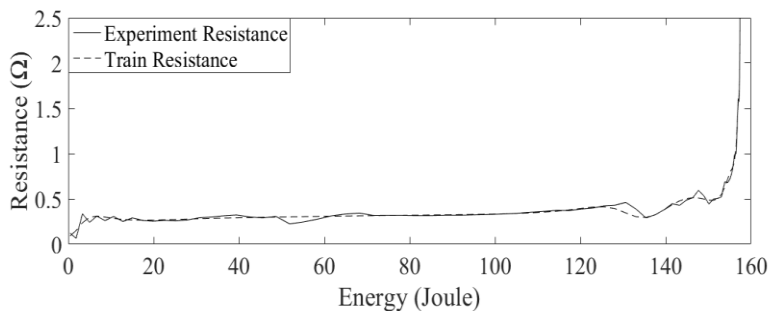
Gambar 4.5 Monitoring pelatihan NN

4.1.7 Hasil Pelatihan Neural Network

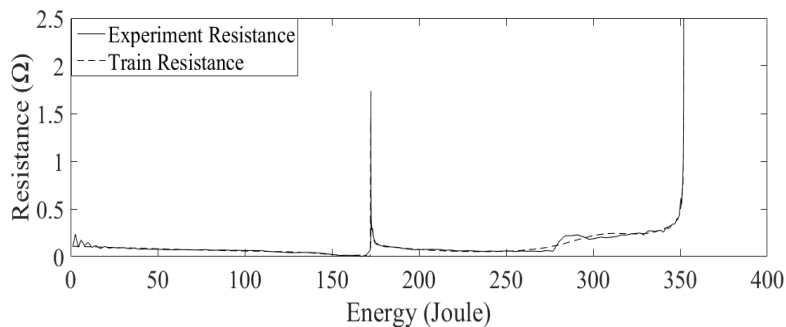
Pelatihan neural network dalam percobaan ini menggunakan parameter yang terbaik hasil dari percobaan diatas. Metode pelatihan menggunakan trainlm, jumlah hidden layer 2 dan jumlah neuron 20. Dalam penelitian ini, serabut yang dilatih adalah serabut 1,3,6,12 dan 24. Berikut ini adalah hasil pelatihan dari masing-masing serabut:



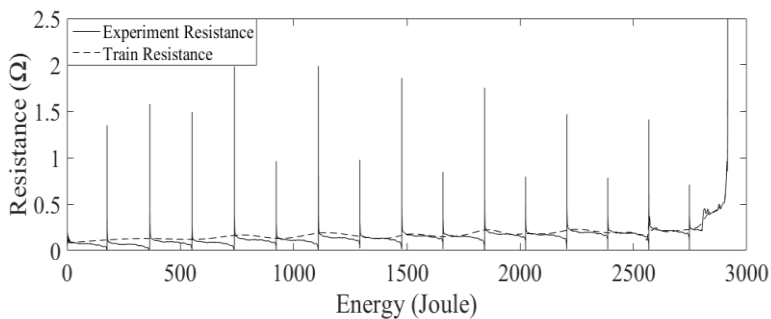
Gambar 4.6 Hambatan Serabut 1



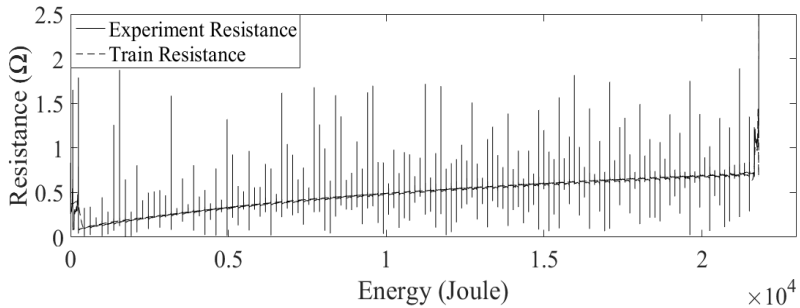
Gambar 4.7 Hambatan Serabut 3



Gambar 4.8 Hambatan Serabut 6



Gambar 4.9 Hambatan Serabut 12

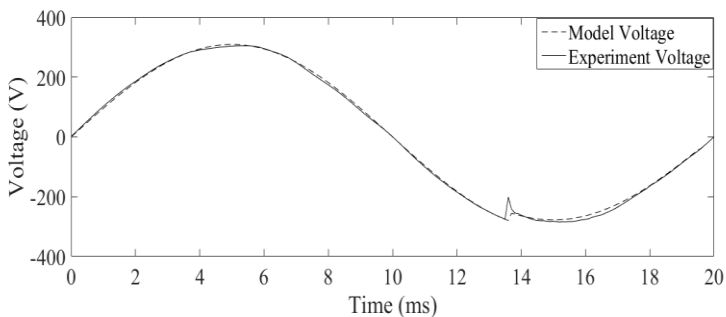


Gambar 4.10 Hambatan Serabut 24

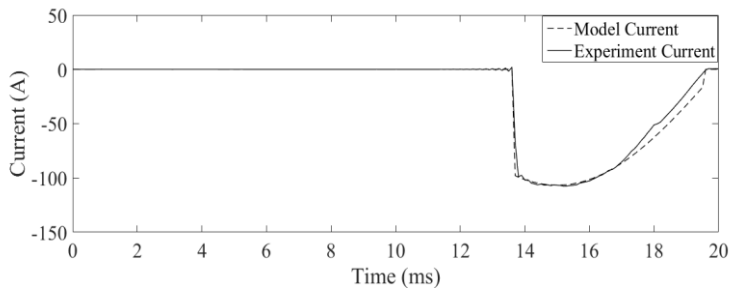
Dari gambar diatas terlihat bahwa nilai R Percobaan dengan R Train sudah cukup mirip sehingga sudah dapat digunakan untuk proses pemodelan busur api listrik tegangan rendah.

4.2 Hasil Pemodelan dengan Data Training

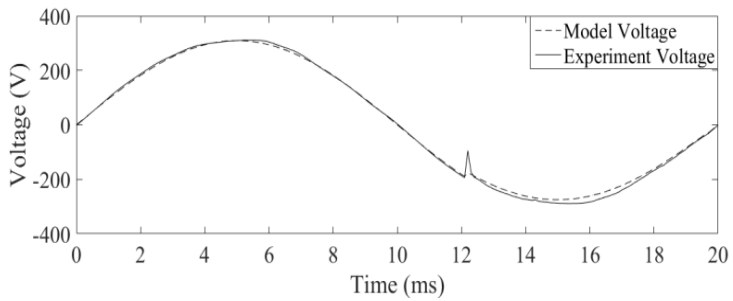
Simulasi model dilakukan sebanyak lima kali, sebanyak serabut yang akan dimodelkan, yaitu serabut 1,3,6,12,24. Data simulasi model tersebut kemudian dibandingkan dengan data percobaan yang digunakan untuk melakukan training JST menggunakan metode Mean Absolute Percentage Error, sehingga didapatkan tingkat akurasi dari masing-masing pemodelan. Arus arcing selesai menggunakan pengaturan *switch off* secara manual.



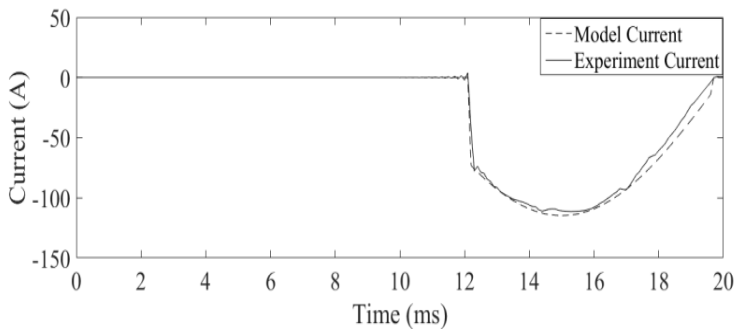
Gambar 4.11 Tegangan Sumber Serabut 1



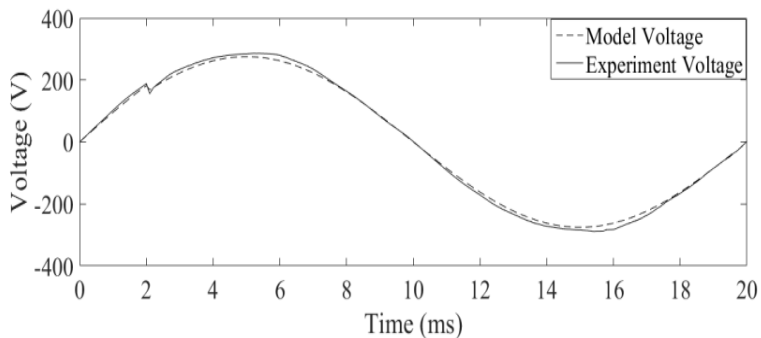
Gambar 4.12 Arus Arcing Serabut 1



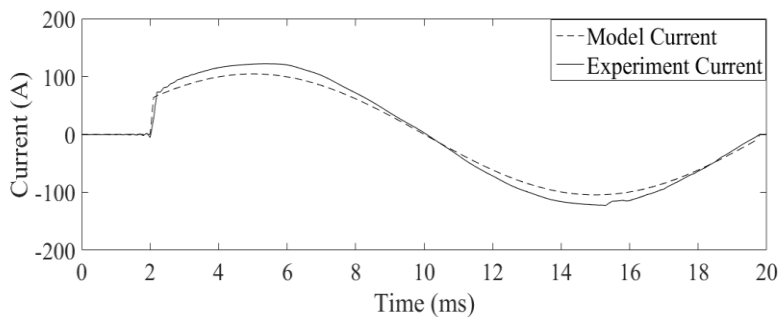
Gambar 4.13 Tegangan Sumber Serabut 3



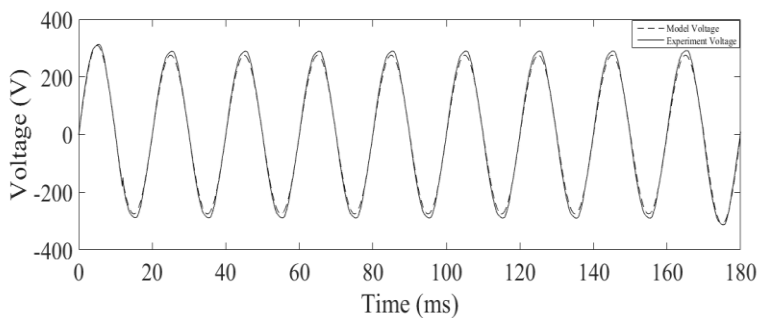
Gambar 4.15 Arus Arcing Serabut 3



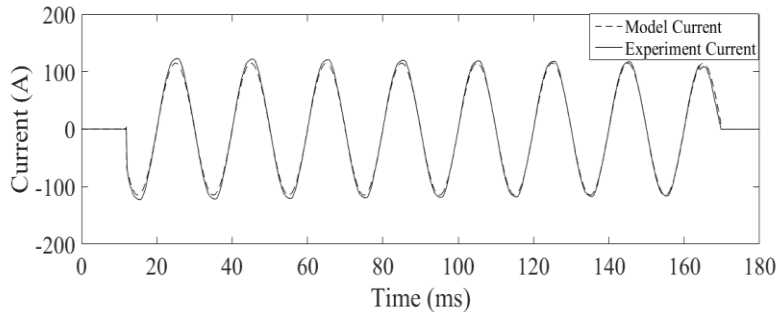
Gambar 4.15 Tegangan Sumber Serabut 6



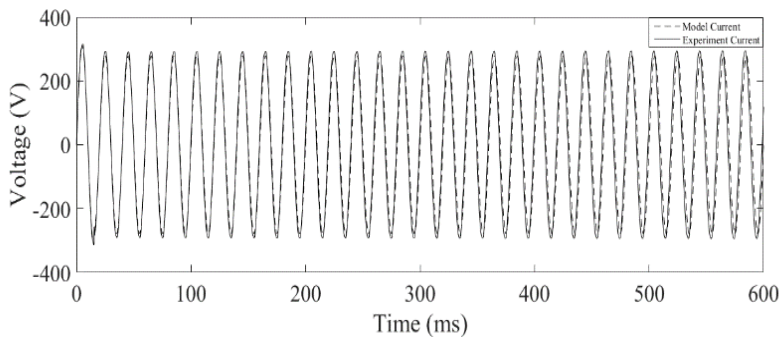
Gambar 4.16 Arus Arcing Serabut 6



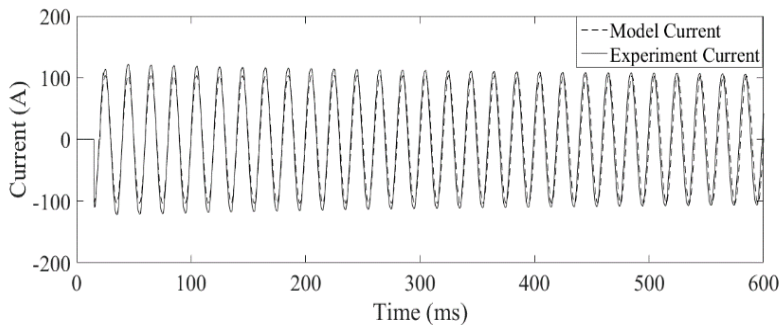
Gambar 4.17 Tegangan Sumber Serabut 12



Gambar 4.18 Arus Arcing Serabut 12



Gambar 4.19 Tegangan Sumber Serabut 24



Gambar 4.20 Arus Arcing Serabut 24

Dari hasil diatas, arus arcing dapat bernilai positif maupun negatif. Hal ini merupakan efek dari kapan waktunya hubung

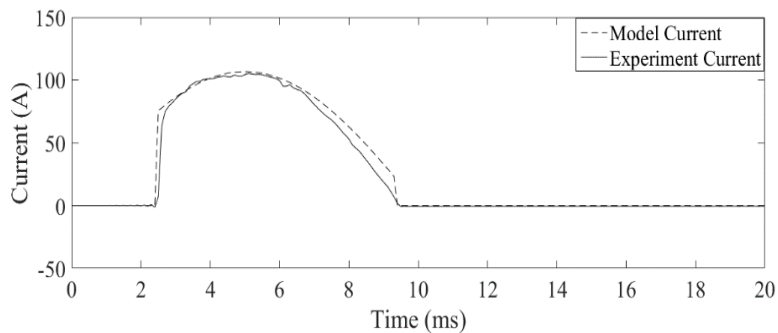
singkat apakah saat tegangan berada pada polaritas positif maupun negatif. Jika polaritas tegangan positif maka arus arcing bernilai positif pula karena tegangan dan arus arcing tidak memiliki beda fasa (beban resistif) dan juga sebaliknya.

Tabel 4.6 Error Pemodelan

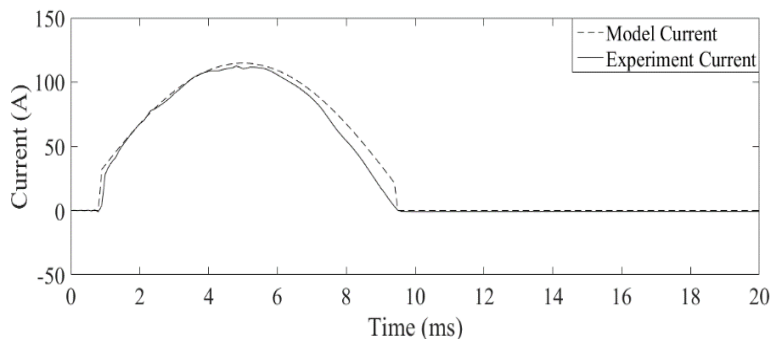
Jumlah Serabut	Jenis Pemodelan	MSE
Serabut 1	Tegangan	58.72276883
	Arus	16.65445803
	Hambatan	49.93474312
Serabut 3	Tegangan	100.0965751
	Arus	17.77324287
	Hambatan	200.3116234
Serabut 6	Tegangan	201.8148888
	Arus	143.9601619
	Hambatan	31.36391
Serabut 12	Tegangan	318.5309863
	Arus	46.71694074
	Hambatan	4.440189086
Serabut 24	Tegangan	9627,118
	Arus	1244,925
	Hambatan	0,0093

4.3 Hasil Pemodelan dengan Data Non-Training

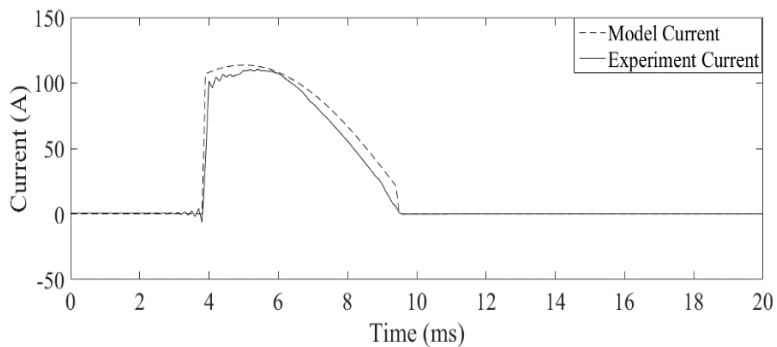
Hasil pemodelan dengan data non-training maksudnya adalah menguji program menggunakan data yang berbeda dengan data yang digunakan untuk melakukan pelatihan pada JST. Tujuannya adalah untuk menguji apakah program ini dapat digunakan untuk bentuk-bentuk arcing yang lainnya. Seperti yang telah dijelaskan di bab 3, arus arcing selesai menggunakan pengaturan *switch off* secara manual.



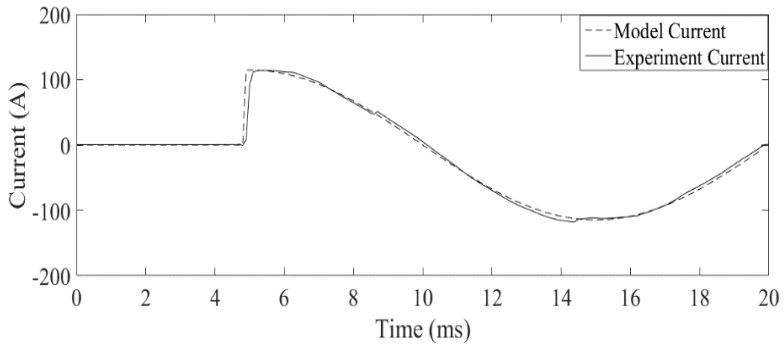
Gambar 4.21 Arus Arcing Serabut 1 (non-train)



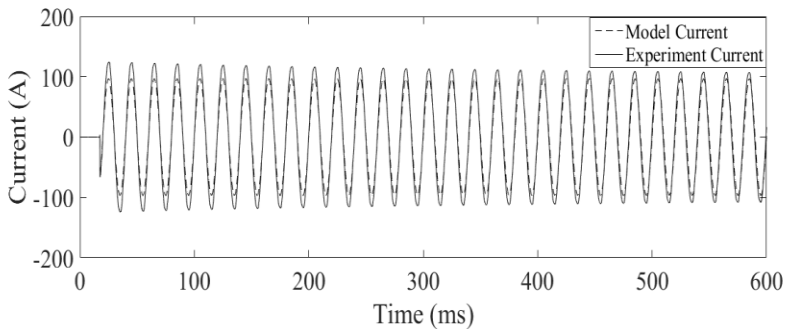
Gambar 4.22 Arus Arcing Serabut 3 (non-train)



Gambar 4.23 Arus Arcing Serabut 6 (nont-train)



Gambar 4.24 Arus Arcing Serabut 12 (non-train)



Gambar 4.25 Arus Arcing Serabut 24 (non-train)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pembuatan tugas akhir pemodelan arus arc tegangan rendah ini telah melalui tahapan-tahapan yang cukup panjang, mulai dari studi literatur, persiapan alat, penagambilan data, pengolahan data, bahkan sampai pembuatan model. Ada beberapa kesimpulan yang bisa diambil.

Yang pertama adalah karakteristik dari arus busur api listrik adalah nilainya relatif tinggi, namun durasinya relatif singkat. Hal ini yang kemudian menyebabkan alat pengaman tidak mendeteksi adanya gangguan sehingga sistem kelistrikan tidak putus. Hal ini yang kemudian dapat menyebabkan terjadinya kebakaran karena adanya busur api listrik yang terus terjadi.

Dari Pemodelan arus arcing diatas, didapatkan nilai MSE untuk masing-masing serabut, yaitu:

Serabut 1: $MSE = 16.34543$

Serabut 3: $MSE = 16.24647$

Serabut 6: $MSE = 44.12924$

Serabut 12: $MSE = 21.32577$

Serabut 24: $MSE = 1244.925$

Dari nilai-nilai MSE tersebut, jumlah dari sampel tidak menjadi ukuran mutlak berkaitan dengan nilai MSE.

Parameter-parameter pada neural network yang terbaik dalam penelitian ini adalah dengan metode trainlm, dengan jumlah hidden layer 2 dan jumlah neuron 40. Jumlah hidden layer dan neuron berpengaruh terhadap nilai akurasi hasil training neural network. Akan tetapi, semakin banyak jumlah neuron tidak selalu nilai akurasinya akan semakin baik.

Durasi arcing cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah serabut, namun dalam beberapa kasus terjadi sebaliknya. Adapun nilai arus puncak dari arcing cenderung sama.

Penggunaan alat akuisisi data NI 9246 dan NI 9223 dapat merekam sinyal tegangan dan arus dengan baik karena noisenya kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Joseph Maida, P.E., “*Arc Flash Overview and Qualifications*”, Maida Engineering Inc, Fort Washington, 2009
- [2] B. Scaddam, “*Instalasi Listrik Rumah Tangga; Edisi Kedua Belas*”, Penerbit Erlangga, 2004
- [3] T. Gammon and J. Matthews, “*The Historical Evolution of Arcing-Fault Models for Low-Voltage Systems*”, Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference, 1999 IEEE, pp. 1-6
- [4] J. J. Lowke, “Simple Theory of Free-Burning Arcs,” *Journal of physics D: Applied Physics*, vol. 12, 1979, pp. 1873-1886
- [5] T. H. Lee, “Plasma physics and the interruption of an electric circuit,” *Proc. of the IEEEX*, vol. 57, Mar. 1969, pp. 307-323
- [6] Albert M. Smoak, P.E., Adam J. Keeth, “*An Investigation of Low Voltage Arc Flash Exposure*”, IEEE 2013, pp. 183-185
- [7] G. Horvath, “*Neural Networks for System Modeling*”, NIMIA, Italy, 2002
- [8] C.T. Lin, and C.S.G. Lee, *Neural fuzzy systems: A neuro-fuzzy synergism to intelligent systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall Inc., 1996
- [9] L. Fausset, *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications*, New Jersey: Prentice-Hall, 1994
- [10] O. R. Schurig, “Fault voltage drop and impedance at short-circuit currents in low-voltage circuits,” *AIEE Trans.*, vol. 60, 1941, pp. 479-487
- [11] N. Sanjaya, “*Pemodelan Busur Api (Arc Flash) Listrik Tegangan berbasis Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Network)*”, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 2015

RIWAYAT HIDUP



Liga Primabaraka lahir di Surabaya pada tanggal 15 Oktober 1994. Penulis adalah anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menamatkan pendidikan di SDN Rangkah 6 Surabaya, kemudian lanjut di SMPN 6 Surabaya, lalu berlanjut di SMAN 5 Surabaya dan saat ini penulis menempuh pendidikan tinggi di S1 Teknik Elektro ITS. Di masa kuliah, penulis cukup aktif di beberapa organisasi dan kepanitiaan. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis menempuh Tugas Akhir di Laboratorium Tegangan Tinggi.